Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Sep.-Oct. 2023, p. 503-517

Evaluation of Irrigation Water Application and Water Footprint of Major Agricultural and Horticultural Crops in the Markazi Province

M. Goodarzi[1]*, F. Abbasi[2], A. Hedayatipour[3]

Received: 15-02-2023
Revised: 17-06-2023
Accepted: 26-06-2023
Available Online: 27-06-2023

How to cite this article:
Goodarzi, M., Abbasi, F., & Hedayatipour, A. (2023). Evaluation of irrigation water application and water footprint of major agricultural and horticultural crops in the Markazi Province. *Journal of Water and Soil, 37*(4), 503-517. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2023.81144.1253

Introduction

The lack of water resources and increase in water demand are among the effective factors in the imbalance of the water resources in each region, and it is necessary to manage the proper use of available water resources in all activities. Water in the agricultural sector is one of the main factors of production, which should be conveyed by irrigation systems to the field level and made available for the plant roots. The necessity of macro-planning in water management and consumption imposes a comprehensive study of the amount of water consumed in the agricultural sector. Hence, this study was conducted with the objective of directly measuring and field-assessing the applied water, water productivity, and water footprint associated with the primary crops cultivated in Markazi Province, all managed by local farmers.

Methodology

For this purpose, 141 farms were selected in the major production areas of the main agricultural and horticultural crops of Markazi province with the coordination of the Agricultural Jihad centers. Then, the volume of water applied was measured without interfering in the irrigation scheduling of the users. To do so, first, the flow rate of the water source (canal, well, aqueduct or spring) was measured with a suitable device (flume and meter) in each of the selected farms. Then, by carefully monitoring the irrigation schedule of the farm, including the time of each irrigation, the number of irrigation throughout the year, as well as measuring the area under crop cultivation, the amount of water used by the crop was measured for each of the selected farms during the season. Also, based on the measured data, the amounts of blue, green and gray water footprints were determined for each of the examined crops. For this purpose, the blue, green and gray water footprints of different crops were calculated using the framework provided by Hoekstra and Chapagain (2008), and Hoekstra *et al*., (2011).

Results and Discussion

The irrigation intervals in the studied fields varied between 3 and 15 days with an average of 8 days and the average irrigation depth varied between 26.2 and 99 mm with an average of 67.8 mm in different crops. The results showed that the average volume of applied water for the studied crops in Markazi province was 10782 cubic meters per hectare. Also, the minimum and maximum amount of applied water for the evaluated crops was as follows: barley 3783 and 7232, alfalfa 10382 and 19797, beans 8280 and 17840, watermelon 5333 and 7174, walnuts 4420 and 29600, almonds 3850 and 13932, peaches 6872 and 17727, cherries 7050 and 14645, pomegranates 7156 and 20790, and grapes 5937 and 18168 cubic meters per hectare. Furthermore, the average value of irrigation water efficiency index and water footprint was as follows: barley 0.46 and 1642, alfalfa 0.92 and 700, bean 2924 and

1 and 3- Assistant Professor and Scientific Member, Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran, respectively.
(* Corresponding Author Email: m.godarzi@areeo.ac.ir)
2- Professor, Irrigation and Drainage Department, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2023.79946.1233

0.24, watermelon 9.37 and 117, walnut 0.1 and 6706, almonds 0.16 and 6857, peach 2.48 and 242, cherries 0.73 and 875, pomegranates 1.33 and 636, and grapes 11.2 and 322. Based on the obtained results, the average total water footprint index was equal to 2102 cubic meters per ton. On average, the almond with a water footprint of 6857 cubic meters per ton had the highest share in allocating the water footprint in the crop production of the province. Whereas, the lowest water footprint related to the watermelon with a water footprint of 117 cubic meters per ton. he average values of the irrigation application efficiency index, irrigation water productivity, and water footprint for the examined farms were 72.5%, 1.79 kg/m^3, and 2,102 m^3/ton, respectively. In summary, the results indicate that the combined volume of irrigation water and beneficial rainfall in the irrigated fields within Markazi Province surpasses the actual water demand of the crops. This underscores the substantial impact of irrigation management on water utilization in the region.

Conclusion

On average, the total volume of irrigation water and effective rainfall in irrigated fields and gardens in Markazi Province is more than the actual water requirement of the plant. In general, the results showed that irrigation management has a great impact on the amount of water use in the region. Based on the obtained results, considering that most of the farms and gardens receive water in an intermittent manner, in principle, no special attention is paid to the need for water and even effective rainfall, and the amount of water availability has the greatest impact on water consumption. Therefore, in order to reduce water consumption and improve water efficiency, it is suggested to manage the delivery of water to farmers during the season and according to their crop water needs. Also, the results of the water footprint can be used to improve water resource policies at the province level, land use studies, cropping pattern modification, and environmental sector policies.

Keywords: Irrigation efficiency, Green water, Water requirement, Water use efficiency

نشریه آب و خاک

https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷، شماره ۴، مهر-آبان ۱۴۰۲، ص. ۵۱۷-۵۰۳

ارزیابی حجم آب آبیاری و ردپای آب محصولات زراعی و باغی در استان مرکزی

مصطفی گودرزی[1]*- فریبرز عباسی[2]- ابوالفضل هدایتی پور[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

چکیده

لزوم برنامه‌ریزی کلان در مدیریت و مصرف آب، بررسی جامع در خصوص حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی را ضروری می‌نماید. لذا، این تحقیق با هدف اندازه‌گیری مستقیم و مزرعه‌ای میزان آب کاربردی، بهره‌وری آب و ردپای آب برای محصولات غالب استان مرکزی تحت مدیریت بهره‌برداران اجرا گردید. بدین منظور، ۱۴۱ مزرعه و باغ در مناطق مهم تولید محصولات عمده زراعی و باغی استان مرکزی، با هماهنگی مدیریت‌های جهاد کشاورزی انتخاب و حجم آب داده شده بدون دخالت در برنامهٔ آبیاری بهره‌برداران اندازه‌گیری شد. براین اساس ابتدا مقدار دبی منبع آب (کانال، چاه، قنات و یا چشمه) با استفاده از فلوم و کنتور، در هر کدام از مزارع منتخب اندازه‌گیری شد. سپس با پایش دقیق برنامه آبیاری مزرعه شامل زمان هر نوبت آبیاری، تعداد دفعات آبیاری در طول سال و همچنین اندازه‌گیری سطح زیر کشت محصول، حجم آب کاربردی محصول برای هر کدام از مزارع و باغات منتخب در طول فصل اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میانگین حجم آب کاربردی برای کل محصولات مورد مطالعه در سطح استان ۱۰۷۸۲ متر مکعب در هکتار بود. همچنین، کمترین و بیشترین حجم آب کاربردی به‌ترتیب برای محصول جو ۳۷۸۳ و ۷۲۳۲، یونجه ۱۰۳۸۲ و ۱۹۷۹۷، لوبیا ۸۲۸۰ و ۱۷۸۴۰، هندوانه ۵۳۳۳ و ۷۱۷۴، گردو ۴۴۲۰ و ۲۹۶۰۰، بادام ۳۸۵۰ و ۱۳۹۳۲، هلو ۶۸۷۲ و ۱۷۷۲۷، گیلاس ۷۰۵۰ و ۱۴۶۴۵، انار ۷۱۵۶ و ۲۰۷۹۰ و انگور ۵۹۳۷ و ۱۸۱۶۸ متر مکعب در هکتار بود. مقدار میانگین شاخص بهره‌وری آب آبیاری و ردپای آب به‌ترتیب برای محصول جو ۰/۴۶ و ۱۶۴۲، یونجه ۰/۹۲ و ۷۰۰، لوبیا ۰/۲۴ و ۲۹۲۴، هندوانه ۹/۳۷ و ۱۱۷، گردو ۰/۱ و ۶۷۰۶، بادام ۰/۱۶ و ۶۸۵۷، هلو ۲/۴۸ و ۲۴۲، گیلاس ۰/۷۳ و ۸۷۵، انار ۱/۳۳ و ۶۳۶ و انگور ۲/۱۱ و ۳۲۲ بود. بر اساس نتایج به دست آمده، با توجه به اینکه اکثر مزارع و باغات به‌صورت حقابه‌ای آب دریافت می‌کنند اصولاً به نیاز آبی و حتی بارش مؤثر توجه ویژه‌ای نمی‌شود و میزان دسترسی به آب بیشترین تأثیر را در مصرف آب دارد. لذا، پیشنهاد می‌شود به‌منظور کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب، تحویل آب به کشاورزان در طول فصل مدیریت شود و حقابه متناسب با نیاز آبی به آن‌ها تحویل داده شود. از نتایج ردپای آب بدست آمده می‌توان به منظور بهبود سیاست‌گذاری‌های کلان منابع آب در استان، مطالعات آمایش سرزمین، اصلاح الگوی کشت و سیاست‌گذاری‌های بخش محیط زیست استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: آب سبز، بهره‌وری آب، راندمان آبیاری، نیاز آبی

۱ و ۳- به‌ترتیب استادیار و مربی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: m.godarzi@areeo.ac.ir)

۲- استاد بخش آبیاری و زهکشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

DOI: 10.22067/jsw.2023.79946.1233

مقدمه

کاهش روزافزون منابع آب در طبیعت و نیاز بی‌پایان انسان به آب و مصرف عمده این ماده حیاتی در بخش کشاورزی، محققان را وادار به بررسی و مطالعات مستمر در مورد روش‌های مختلف آبیاری نموده است تا بتوانند با بکارگیری تکنیک صحیح در امر کنترل مصرف آب، از هدررفتن این ماده حیاتی و نتایج ناگواری که از مصرف غیراصولی آن برای گیاه و خاک ببار می‌آید جلوگیری به عمل آورند (Akbari, 2019).

آب در بخش کشاورزی یکی از عوامل اصلی تولید است که می‌بایست توسط سامانه‌های آبیاری در سطح مزرعه هدایت و در اختیار ریشه گیاه قرار داده شود. کمبود منابع آبی و افزایش تقاضای آب از جمله عوامل مؤثر در عدم برقراری تعادل بیلان آبی در هر منطقه هستند و مدیریت استفاده مناسب از منابع آب موجود در کلیه فعالیت‌ها ضروری است. در چنین شرایطی یکی از راهکارهای مؤثر و عملی، استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از مصارف آب در کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، مدیریت مصرف آب در این بخش بسیار مؤثر و راهگشا خواهد بود (Abbasi *et al*., 2017). برای برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تأمین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، نیاز به تخمین نسبتاً دقیق و یا تعیین شاخص‌های مدیریت مصرف آب از جمله مقدار آب کاربردی، راندمان آبیاری و بهره‌وری آب در محصولات زراعی و باغی مختلف در کشور است (Akbari, 2019).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که مطالعات انجام‌شده در خصوص حجم آب کاربردی در بخش کشاورزی عمدتاً به‌صورت برآوردی بوده و به‌روز شده نیست. بر مبنای نتایج مطاالعات پیشین، حجم آب کاربردی در بخش کشاورزی از ۷۰ تا ۸۶ میلیارد متر مکعب متغیّر بوده است. به‌طور مثال مقدار آب مصرفی کشاورزی را کمیتهٔ ملّی آبیاری و زهکشی و سامانی (Samani, 2006)، ۸۶ میلیارد متر مکعب، کارشناسان وزارت نیرو، ۸۳ میلیارد متر مکعب (Anonymous, 1999) و موّحددانش (Mohaddanesh, 1995) ۷۰ میلیارد متر مکعب گزارش نموده‌اند. اخیراً، در پژوهشی در مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مقدار آب کاربردی کشاورزی با روش بیلان آب، ۷۵ میلیارد متر مکعب در سال برآورد شده است (Naseri et al., 2017).

عباسی و همکاران (Abbasi *et al*., 2017)، در تحقیقی به ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران پرداختند. در این تحقیق، به منظور تهیه بانک اطلاعات راندمان آبیاری در کشور، به جمع‌بندی نتایج مطالعات مرتبط با راندمان‌های آبیاری پرداخته شد. نتایج نشان داد که راندمان کاربرد آب آبیاری در کشور از ۲۲/۵ تا ۸۵/۵ درصد متغیر و میانگین آن ۵۶ درصد است. در این تحقیق، راندمان کاربرد آب آبیاری در استان مرکزی بین ۳۳ تا ۷۶/۶ درصد و متوسط آن ۶۱ درصد گزارش شده اشت.

عظیمی دزفولی (Azimi Dezfuli, 2020)، در تحقیقی مصرف آب در تولید محصولات زراعی در کشور را برآورد نمود. در این تحقیق، با استفاده از بانک اطلاعات نیاز خالص آبیاری محصولات، آمار زراعی سال ۱۳۹۵ و با فرض راندمان آبیاری ۴۴/۷ درصد، مصرف آب محصولات زراعی منتخب را برآورد گردیده است. نتایج نشان داد حداکثر حجم آب مصرفی این محصولات ۷۸/۶ میلیارد مترمکعب است و بیشترین آب مصرفی به تولید ملی گندم اختصاص دارد. کارن و ویرجین (Karen and Virginie, 2012)، برای برآورد فشار بر منابع آب ناشی از تولید محصولات کشاورزی در کشورهای مختلف، از مجموعه اطلاعات AQUASTAT و جداول نیاز آبیاری محصولات زراعی استفاده کردند. در نهایت تقویم آبیاری محصولات زراعی را در قالب یک مدل برای کشورهای مختلف و بر اساس اطلاعات FAO به منظور ارزیابی قابل اطمینان نیاز آب آبیاری در این کشورها ارائه نمودند.

یوسفی و همکاران (Yousefi *et al*., 2018)، در تحقیقی به ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی و باغی استان تهران پرداختند. در این تحقیق به منظور محاسبه ردپای آب محصولات کشاورزی، نیاز آبی گیاه از نرم‌افزار CropWat، عملکرد محصولات و سایر پارامترهای مورد نیاز در محاسبات از طریق آمارنامه‌های کشاورزی محاسبه و گردآوری شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در بخش تولیدات زراعی، مقدار محتوی ردپای آب، به مراتب بیش‌تر از تولیدات باغی می‌باشد. بالاترین میانگین ردپای آب مربوط به محصول گندم (۲۵۳۹ متر مکعب برتن) و پایین‌ترین میانگین ردپای آب مربوط به محصول سیب (۴۷۷ مترمکعب بر تن) بوده است. همچنین با توجه به نتایج، مشخص شد که حجم زیادی از منابع آب استان صرف تولید محصولات زراعی و باغی می‌شود. در تمامی محصولات مورد مطالعه، ردپای آب سبز بیش از سایر اجزای ردپای آب بود که نشان دهنده اتکای تولید محصولات بر بارش باران و رطوبت خاک است و بخش اعظم آب آبیاری از دسترس گیاه در اثر تبخیر یا نفوذ خارج می‌شود.

علیقلی‌نیا و همکاران (Aligholinia *et al*., 2016)، در تحقیقی به تخمین و ارزیابی ردپای آب آبی و سبز محصولات عمده مورد کشت در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که متوسط سالانه آب مصرفی محصولات غالب تولید شده در حوضه حدود ۳۵۴۷/۸۳ متر مکعب بر تن می‌باشد که از این مقدار سهم دو جزء آب سبز و آبی به‌ترتیب ۲۵ و ۷۵ درصد است. همچنین نتایج نشان داد که در بین محصولات مورد مطالعه، گندم و یونجه بیشترین ردپای آب را دارا بودند. در حالی که چغندرقند و ذرت علوفه‌ای بالاترین نسبت آب آبی به آب سبز را داشته‌اند. اشک تراب و زیبایی (Ashktorab and

(Zibaei, 2021)، نیز در تحقیقی به حسابداری ردپای آب محصولات زراعی اصلی در استان فارس پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد، مجموع ردپای آب آبی و سبز برای محصولات گندم و، جو، شلتوک، ذرت دانه‌ای، چغندرقند و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب معادل ۱۷۷۸، ۳۲۰، ۴۴۰، ۱۵۱، ۱۴۶ و ۱۴۷ میلیون متر مکعب است و در مجموع معادل با ۳ میلیارد متر مکعب در سال می‌باشد.

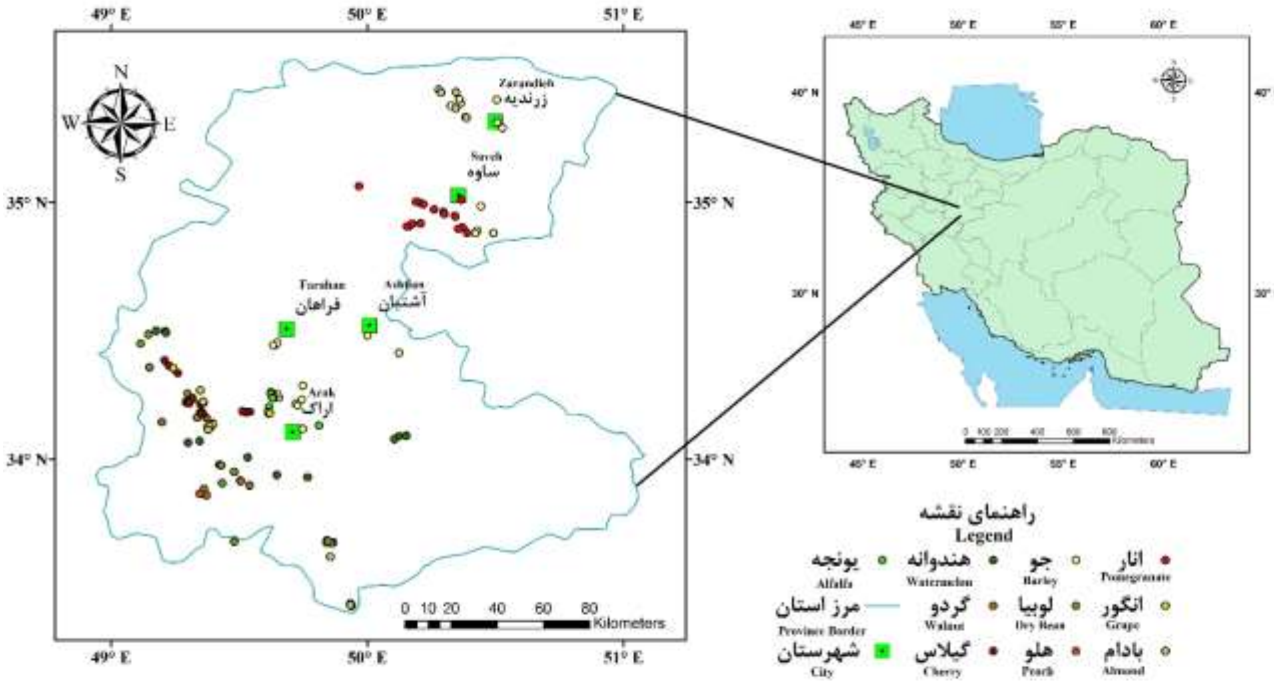
بررسی تحقیقات پیشین مشخص نمود که حجم فراوانی از آب تجدیدپذیر کشور برای تولید محصولات مختلف در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. لذا، برای برنامه‌ریزی کلان در مدیریت و مصرف آب در کشور، تعیین دقیق حجم آب کاربردی در بخش کشاورزی ضروری است. برای برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تأمین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، نیاز به تخمین نسبتاً دقیق و یا تعیین شاخص‌های مدیریت مصرف آب از جمله مقدار آب کاربردی، راندمان آبیاری، بهره‌وری آب و ردپای آب در محصولات زراعی و باغی مختلف در کشور است. در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد از تولیدات زراعی و باغی در کشور و نیز استان مرکزی، از اراضی فاریاب به دست می‌آید. بنابراین، لزوم برنامه‌ریزی کلان در مدیریت و مصرف آب در سطح استان، بررسی جامع حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی را ضروری می‌نماید. بر اساس بررسی‌های انجام شده مشخص شد که مطالعات انجام شده بر روی حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی به صورت برآورد و موردی بوده و یا به‌طور عمده در شرایط مزارع پژوهشی بوده و میزان آب کاربردی در مزارع و باغات تحت مدیریت بهره‌برداران به ندرت ارائه شده است. لذا، این تحقیق با هدف اندازه‌گیری مستقیم و مزرعه‌ای مقدار آب کاربردی، بهره‌وری آب و ردپای آب در شرایط موجود برای محصولات عمده استان مرکزی تحت مدیریت بهره‌برداران اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ۱۴۱ مزرعه و باغ منتخب در دشت‌های مهم تولید محصولات غالب زراعی و باغی استان مرکزی شامل جو، یونجه، لوبیا، هندوانه، انگور، هلو، گیلاس، انار، بادام و گردو، در بازه سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۳۹۸ اجرا گردید. مزارع و باغات منتخب برای اندازه‌گیری با هماهنگی مراکز خدمات و مدیریت‌های جهاد کشاورزی استان طوری انتخاب شدند که اغلب شرایط ازجمله بافت خاک و مدیریت‌های مختلف، شوری‌های آب و خاک مختلف، روش‌های آبیاری متنوع و غیره را پوشش دادند (شکل ۱). شاخص‌های مورد نظر از جمله آب کاربردی، بدون دخالت در برنامهٔ آبیاری آن‌ها و تحت مدیریت کشاورزان اندازه گیری شد. بدین‌صورت که ابتدا در هر یک از شهرستان‌های مورد مطالعه، مزارع و باغات با هماهنگی مراکز خدمات و مدیریت‌های جهاد کشاورزی انتخاب و حجم آب داده‌شده بدون دخالت در برنامهٔ آبیاری بهره‌برداران اندازه‌گیری گردید. بدین منظور ابتدا مقدار دبی منبع آب ورودی به مزرعه (کانال، چاه، قنات و یا چشمه) با استفاده از فلوم و کنتور حجمی، در هر کدام از مزارع و باغات منتخب اندازه‌گیری شد. پس از تعیین میزان دبی آب ورودی با پایش دقیق برنامه آبیاری شامل زمان هر نوبت آبیاری، تعداد دفعات آبیاری در طول سال، اندازه‌گیری سطح زیر کشت محصول با استفاده از دستگاه GPS (مدل Garmin eTrex Vista) در مزرعه و باغ و حجم آب کاربردی محصول برای هر کدام از مزارع و باغات منتخب در طول فصل اندازه‌گیری شد. همچنین در هر کدام از مزارع و باغات مواردی نظیر بافت خاک، هدایت الکتریکی خاک و آب آبیاری (با نمونه‌برداری و استفاده از شوری‌سنج مدل Mettler Toledo EE-30)، مساحت و موقعیت مکانی، اندازه‌گیری گردید.

در این تحقیق بارندگی مؤثر به روش SCS برآورد شد که مقدار آن با استفاده از رابطه ۱ و ۲ محاسبه می‌گردد (USDA, 1967). نیاز آبی گیاه به روش پن‌من-مانتیث با استفاده از داده‌های سال زراعی جاری و ۱۰ سال اخیر برای منطقهٔ مورد نظر از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی تهیه و برآورد گردید. در این تحقیق، نیاز آبی گیاه مرجع با اِعمال ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه شماره ۵۶ فائو به نیاز آبی خالص گیاه تبدیل شدند (Allen *et al*., 1998). عملکرد محصول نیز در پایان فصل زراعی اندازه‌گیری و بهره‌وری آب در هر یک از مناطق مورد مطالعه محاسبه و مقایسه شد.

راندمان کاربرد آب در مزرعه با استفاده از نسبت نیاز خالص آبیاری (به روش پنمن-مانتیث با استفاده از داده‌های سال زراعی جاری) به حجم آب داده شده توسط بهره‌برداران برای هریک از مزارع و باغات مورد مطالعه برآورد و تحلیل شد. این روش متوسطی از شاخص راندمان کاربرد آب را در فصل زراعی ارائه می‌دهد (Goodarzi *et al*., 2021؛ Abbasi *et al*., 2017). این روش متوسطی از شاخص راندمان کاربرد آب را در فصل زراعی ارائه می‌دهد (Goodarzi *et al*., 2021). شاخص بهره‌وری آب از نسبت مقدار عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) به حجم آب کاربردی (متر مکعب در هکتار) به دست آمد؛ به‌عبارت‌دیگر شاخص بهره‌وری آب در تولید محصول از رابطه ۴ تعیین شد (Molden *et al*., 2001).



شکل ۱- موقعیت مکانی مزارع و باغات مورد مطالعه در سطح استان مرکزی

Figure 1- Location of studied farms in Markazi province

$$P_e=P_{tot}\frac{125-0.2P_{tot}}{125}\quad \text{for } P_{tot}<250\text{ mm} \qquad (۱)$$

$$P_e=125+0.1P_{tot}\quad \text{for } P_{tot}>250\text{ mm} \qquad (۲)$$

که در این رابطه P_e بارش مؤثر (mm) و P_{tot} بارش کل (mm) می‌باشد.

$$E_{ap}=\frac{V_{CW}}{V_{ap}} \qquad (۳)$$

که در این رابطه E_{ap} راندمان کاربرد، V_{CW} حجم نیاز خالص آبیاری (متر مکعب در هکتار) و V_{ap} حجم آب کاربردی توسط کشاورز (متر مکعب در هکتار) می‌باشد.

$$WP=\frac{CY}{CW} \qquad (۴)$$

که در آن:

WP= بهره‌وری آب در تولید محصول (کیلوگرم بر متر مکعب آب کاربردی)

CY= عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار در سال)

CW= حجم آب کاربردی در تولید محصول (متر مکعب در هکتار در سال)

همچنین در این تحقیق، ردپای آب آبی، سبز و خاکستری برای محصولات عمده زراعی و باغی استان مرکزی بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده محاسبه شد. بدین منظور ردپای آب آبی، سبز و خاکستری محصولات مختلف با استفاده از چارچوب ارائه شده توسط هوکسترا و چاپاگین (Hoekstra and Chapagain, 2008) و هوکسترا و همکاران (Hoekstra *et al*., 2011) به کمک روابط ۵ تا ۱۱ مورد محاسبه قرار گرفت.

$$WF_{green}=\frac{CWU_{green}}{Y} \qquad (۵)$$

$$CWU_{green}=10\times\sum_{d=1}^{T}ET_{green} \qquad (۶)$$

$$ET_{green}=\min(ET_c\ ,\ P_e) \qquad (۷)$$

که در آن WF_{green} رد پای آب سبز (متر مکعب بر کیلوگرم)، CWU_{green} مقدار مصرف ردپای آب سبز گیاه (متر مکعب در هکتار)، ET_{green} تبخیر و تعرق آب سبز، ET_c تبخیر و تعرق گیاه، P_e بارش مؤثر، T طول مدت رشد گیاه در دوره رشد d (روز) و Y بازده عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) می‌باشد.

$$WF_{blue}=\frac{CWU_{blue}}{Y} \qquad (۸)$$

$$CWU_{blue}=10\times\sum_{d=1}^{T}ET_{blue} \qquad (۹)$$

$$ET_{blue}=\max(0\ ,\ ET_c-P_e) \qquad (۱۰)$$

که در آن، WF_{blue} رد پای آب آبی (متر مکعب بر کیلوگرم)، CWU_{blue} مقدار مصرف ردپای آب آبی گیاه (متر مکعب در هکتار)، ET_{blue} تبخیر و تعرق آب آبی، ET_c تبخیر و تعرق گیاه، P_e بارش مؤثر،

T طول مدت رشد گیاه در دوره رشد d (روز) و Y بازده عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار) می‌باشد.

$$WF_{gray}=\frac{\alpha_{Irr}\times NAR_{Irr}}{C_{max}-C_{nat}}\times\frac{1}{Y} \qquad (۱۱)$$

که در آن α_{Irr} درصد تلفات کودهای نیتروژن (%)، NAR_{Irr} نرخ مصرف کود (کیلوگرم هکتار)، C_{max} غلظت بحرانی نیتروژن (کیلوگرم بر متر مکعب)، C_{nat} غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده و Y عملکرد محصول (تن بر هکتار) و WF_{gray} ردپای آب خاکستری می‌باشد. مقدار α_{Irr} در شرایط فاریاب برابر با ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. غلظت بحرانی نیتروژن در منابع دریافت کننده نیز بر اساس استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شد. از آنجا که اطلاعات دقیقی از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده در دست نیست، این مقدار آن صفر در نظر گرفته شد (Chapagain *et al.*, 2006). در روابط فوق به منظور محاسبه تبخیر و تعرق روزانه از رابطه پیشنهادی آلن و همکاران استفاده گردید (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_C=K_s\times K_C\times ET_o \qquad (۱۲)$$

$$K_S=\frac{TAW-D_r}{TAW-RAW} \qquad (۱۳)$$

که در این رابطه ET_o تبخیر و تعرق مرجع (mm)، ETc تبخیر و تعرق واقعی گیاه (mm)، K_C ضریب گیاهی، K_S عامل بدون بعد کاهش تعرق ناشی از تنش، TAW کل آب قابل دسترس خاک، RAW آب سهل الوصول و D_r تخلیه رطوبتی خاک در ناحیه ریشه، می‌باشد. تمامی محاسبات مربوط به تعیین تبخیر و تعرق واقعی روزانه گیاه در محیط نرم‌افزار CROPWAT 8.0 انجام شد.

در جدول ۱ مشخصات عمومی و برخی از خصوصیات فیزیکی و مدیریتی در مزارع و باغات مورد مطالعه در سطح استان مرکزی ارائه شده است. میزان شوری خاک با میانگین ۲/۱ بین ۰/۴ تا ۸/۱ دسی زیمنس بر متر متغیر بود. بر اساس معیارهای توصیه شده (Richards, 1954) می‌توان بیان نمود که خاک سطحی مزارع و باغات مطالعاتی در کلاس بدون مشکل شوری تا اندکی شور قرار می‌گیرند، که عمدتاً اراضی با شوری بالاتر در منطقه ساوه و زرندیه واقع شده‌اند. شوری آب آبیاری در مزارع مورد مطالعه با میانگین ۱/۰۲ بین ۰/۲۶ تا ۴/۰۵ دسی زیمنس بر متر متغیر بود، که در مورد شوری آب نیز شوری بالاتر عمدتاً مربوط به مزارع واقع در دو منطقه زرندیه و ساوه بود. تعداد کل آبیاری‌های اعمال شده با متوسط ۱۹ نوبت آبیاری بین ۴ تا ۳۹ آبیاری متغیر بود. در جدول ۲ مقادیر میانگین بارش، بارش مؤثر و تبخیر و تعرق گیاهی اندازه‌گیری شده برای هر یک از محصولات مورد ارزیابی در استان ارائه شده است.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی برخی از پارامترهای فیزیکی و مدیریتی در مزارع مورد مطالعه

Table 1- Descriptive statistics of some physical and management parameters in the studied farms

محصول Crops	تعداد مزارع منتخب Number of selected fields	طول دوره رشد Growth period (Day)	تعداد آبیاری Number of irrigations (dS/m)			شوری آب آبیاری Irrigation water salinity (dS/m)			میانگین شوری خاک Average soil salinity (dS/m)		
			میانگین Av.	حداکثر Max.	حداقل Min.	میانگین Av.	حداکثر Max.	حداقل Min.	میانگین Av.	حداکثر Max.	حداقل Min.
جو Barley	26	240	8	13	4	2.1	4	0.8	4.2	8.1	1.8
یونجه Alfalfa	12	365	18	32	9	1.11	2.7	0.52	2.53	4.49	0.85
لوبیا Dry Bean	16	100	22	35	18	0.53	1.03	0.3	1.1	1.93	0.48
هندوانه Watermelon	10	90	23	33	17	0.7	1.37	0.27	1.64	3.72	0.94
گردو Walnut	12	365	18	34	13	0.49	0.92	0.34	1.19	2.16	0.59
بادام Almond	14	365	15	27	8	0.98	3.06	0.26	1.77	4.19	0.66
هلو Peach	9	365	21	38	16	0.5	0.6	0.4	1.3	2.2	0.4
گیلاس Cherry	14	365	22	32	11	0.54	0.92	0.28	1.17	1.92	0.74
انار Pomegranate	16	365	26	39	16	2.62	4.05	0.84	4.58	7.09	1.15
انگور Grape	12	365	12	20	6	0.57	0.98	0.42	1.56	3.27	0.45

جدول ۲- مقادیر میانگین بارش، بارش موثر و تبخیر و تعرق گیاهی اندازه‌گیری شده
Table 2- Average values of precipitation, effective precipitation and crop evapotranspiration

محصول Crops	تبخیر و تعرق گیاهی Evapotranspiration (mm)			بارش مؤثر سال زراعی جاری Current Year Effective Precipitation (mm)	بارش مؤثر بلند مدت Long Term Effective Precipitation (mm)
	پنمن مانتیث (داده‌های هواشناسی بلند مدت) Penman-Monteith (Long Term Meteorological Data)	پنمن مانتیث (داده‌های هواشناسی سال زراعی جاری) Penman-Monteith (Current Year Meteorological Data)	سند ملی آب کشور (نرم‌افزار (NETWAT National Water Document (NETWAT)		
جو Barley	404	424	370	54	99
یونجه Alfalfa	1054	1407	921	352	229
لوبیا Dry Bean	710	810	740	10	30
هندوانه Watermelon	507	692	548	15	38
گردو Walnut	926	1109	849	234	139
بادام Almond	820	865	923	105	88
هلو Peach	732	892	735	127	110
گیلاس Cherry	795	841	769	148	120
انار Pomegranate	1157	1187	1265	138	84
انگور Grape	610	782	600	215	127

نتایج و بحث

در جدول ۳ نتایج اندازه‌گیری آب کاربردی محصولات منتخب مورد مطالعه در سطح استان مرکزی ارائه شده است. دور آبیاری در مزارع مورد مطالعه با میانگین ۸ روز بین ۳ تا ۱۵ روز متغیر بود و متوسط عمق آبیاری نیز با میانگین ۶۷/۸ میلی‌متر بین ۲۶/۲ تا ۹۹ میلی‌متر در محصولات مختلف متغیر بود. بر این اساس، میانگین حجم آب کاربردی برای محصولات مورد مطالعه در سطح استان ۱۰۷۸۲ متر مکعب در هکتار بود. همچنین، بیشترین و کمترین حجم آب کاربردی برای محصولات مختلف مورد ارزیابی به ترتیب برابر با ۵۸۵۹ و ۱۵۹۱۶ متر مکعب در هکتار بود. بر این اساس، بیشترین حجم آب کاربردی برای تولید محصول یونجه و کمترین حجم آب کاربردی برای محصول جو بوده است. متفاوت بودن حجم آب آبیاری علاوه بر نوع محصول تحت تأثیر روش آبیاری مورد استفاده، نحوه مدیریت کشاورز از جمله زمان انجام اولین آبیاری، دور آبیاری، زمان پایان آبیاری در انتهای فصل و حقابه در دسترس کشاورز بستگی بود. به‌گونه‌ای که نحوه مدیریت صحیح آبیاری توسط کشاورز تأثیر قابل توجهی در حجم آب کاربردی توسط بهره‌برداران دارد.

بر اساس نتایج به دست‌آمده مشخص گردید که عمدتاً کشاورزان در منطقه تقریباً در تمام آبیاری‌ها ساعت آبیاری یکسانی را اعمال می‌نمایند و تنها چیزی که بر مقدار آبیاری آن‌ها تأثیر می‌گذارد، دبی دریافتی از منبع آب است. از طرفی در تمامی مزارع به‌صورت حقابه‌ای آب دریافت می‌شود و اصولاً به نیاز آبی و حتی بارش مؤثر به‌طور علمی و اصولی توجهی نمی‌شود. همچنین مشاهدات و ارزیابی‌ها نشان داد که مدیریت آبیاری تأثیر زیادی بر مصرف آب در سطح منطقه دارد. به‌گونه‌ای که با توجه به زمان شروع آبیاری در ابتدای فصل، مدت زمان آبیاری، روش آبیاری، دور آبیاری و زمان قطع آبیاری در انتهای فصل، مقادیر آب کاربردی مختلفی برای سامانه‌های مختلف به دست آمد. این نتایج با دیگر پژوهش‌های انجام شده برای تعیین آب کاربردی محصولات مختلف توسط پرچمی عراقی و همکاران (Parchami-Araghi *et al.*, 2021) برای محصول کلزا، سلامتی و عباسی (Salamati and Abbasi, 2021) برای محصول ذرت علوفه‌ای، شاهرخنیا و همکاران (Shahrokhnia *et al.*, 2022) برای محصول انار و شاهرخنیا و همکاران (Shahrokhnia *et al.*, 2022) برای محصول لیمو همخوانی دارد.

جدول ۳- نتایج اندازه‌گیری آب کاربردی در مزارع و باغات منتخب در سطح استان مرکزی
Table 3- The results of the measurement of applied water in selected farms in Markazi Province

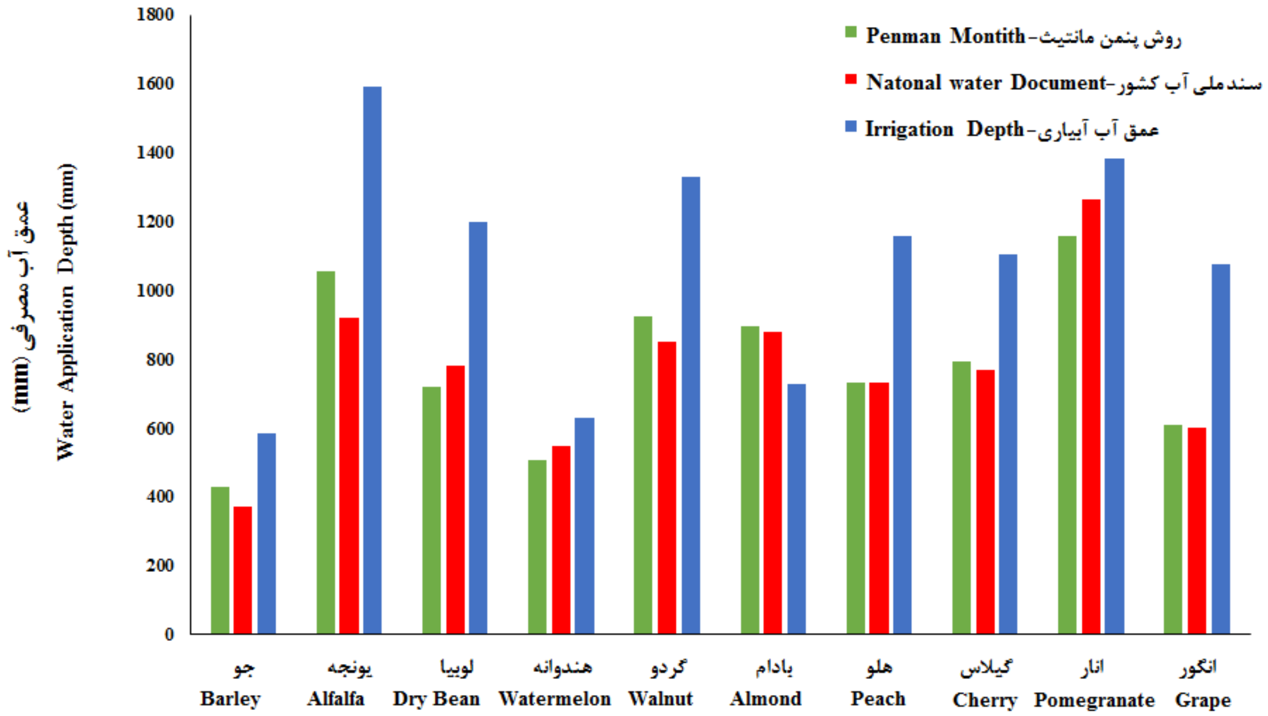
محصول Crops	میانگین حجم آب آبیاری Average volume of irrigation (m^3/ha)			متوسط عمق آب هر آبیاری Average irrigation depth (mm)			دور آبیاری Irrigation cycle (Day)			میانگین عملکرد محصول Average crop yield (ton/ha)		
	میانگین Av.	حداکثر Max.	حداقل Min.	میانگین Av.	حداکثر Max.	حداقل Min.	میانگین Av.	حداکثر Max.	حداقل Min.	میانگین Av.	حداکثر Max.	حداقل Min.
جو Barley	5859	7232	3783	85	134.7	29.1	15	30	6	3.7	4.7	3.1
یونجه Alfalfa	15916	19797	10382	99	188.6	58.8	8	15	5	16.76	19.67	14.25
لوبیا Dry Bean	11980	17840	8280	54.5	51	46	5	6	3	2.9	4.2	1.6
هندوانه Watermelon	6300	7174	5333	26.2	33.9	17.4	3	4	2	61.4	74.3	39.9
گردو Walnut	13290	29600	4420	78.6	124	13	8	12	4	1.52	2.14	1.16
بادام Almond	7267	13932	3850	60.8	119.3	15.4	12	30	6	1.46	2.48	1.2
هلو Peach	11575	17727	6872	59.5	93.3	18.1	7	8	4	35.2	42.7	19.8
گیلاس Cherry	11028	14645	7050	55.6	106.3	22.4	7	16	4	10	12	7
انار Pomegranate	13827	20790	7156	62	119	19	7	10	4	21	31	15
انگور Grape	10775	18168	5937	96.9	184.9	29.5	12	20	6	27.4	36.6	19.3

در شکل ۲ نمودار نیاز آبی به روش‌های مختلف، عمق آب آبیاری اعمال شده و مجموع آب دریافتی شامل آبیاری و بارش مؤثر در مزارع و باغات مورد مطالعه در استان مرکزی برای مقایسه مقادیر نیاز واقعی گیاه با مقادیری که توسط زارع استفاده شده، نشان داده شده است. بر اساس نتایج، محصول جو کمترین و محصول انار و یونجه بیشترین نیاز آبی در بین محصولات عمده کشت شده در سطح استان دارا می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌گردد مقادیر آب کاربردی در مزارع و باغات مختلف متفاوت است که علت آن نوع محصول، روش آبیاری مورد استفاده و مدیریت آبیاری توسط کشاورز بوده است. بر اساس نتایج تحقیق حاضر متوسط عمق آب آبیاری در اکثر مزارع از مقدار نیاز آبی خالص بیشتر است. نکته قابل توجه در اندازه‌گیری‌های انجام شده در سطح مزارع این بود که بهره‌برداران عمدتاً بر اساس حقابه دریافتی آبیاری انجام می‌دهند و توجهی به نیاز آبی گیاه، بارش مؤثر و شرایط اقلیمی ندارند و بر این اساس ممکن است در برخی مزارع و یا برخی از سال‌ها کم آبیاری رخ دهد و یا تلفات آبیاری افزایش یابد که این مسئله تأثیر زیادی بر راندمان آبیاری و بهره‌وری آب دارد. همچنین، بایستی به این نکته توجه نمود که در روش‌های پنمن مانتیث و سند ملی طول دوره رشد و ضرایب گیاهی متناظر آن‌ها با واقعیت منطقه همخوانی ندارد. لذا، برای برآورد دقیق‌تر نیاز آبی با این روش‌ها بایستی طول دوره رشد و ضرایب متناظر برای منطقه اصلاح گردد. نتایج اندازه‌گیری آب مصرفی برای هر یک از محصولات با توجه به شرایط اقلیمی و مدیریتی در شهرستان‌های مختلف متفاوت بود که این تغییرات در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۳ مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین حجم آب مصرفی برای هر یک کاز محصولات مورد ارزیابی ارائه شده است.

مقدار میانگین شاخص راندمان کاربرد آبیاری در طول فصل برای مزارع و باغات مورد مطالعه بین ۵۶ تا ۱۰۰ درصد متغیر و متوسط آن ۷۲/۵ درصد بود (شکل ۴). متوسط راندمان کاربرد برای محصولات زراعی در کشور توسط عباسی و همکاران (Abbasi *et al*., 2017)، ۵۲/۶ درصد گزارش شده است، همچنین در تحقیق مذکور متوسط راندمان کاربرد در استان مرکزی ۶۱ درصد برآورد شده است، در حالی که نتایج تحقیق حاضر راندمان کاربرد بالاتری را برای محصول جو در سطح استان مرکزی نشان می‌دهد. دلیل زیاد بودن شاخص راندمان کاربرد در برخی از مزارع و باغات مورد مطالعه، اعمال کم‌آبیاری ناخواسته بوده است. برخی از بهره‌برداران آب کافی برای آبیاری مزارع خود در اختیار نداشتند و یا مقداری از آب را به کشت محصولات دیگر اختصاص می‌دادند، لذا میانگین راندمان کاربرد این مزارع بالا بوده و به طور ناخواسته در این مزارع کم آبیاری اعمال شده است. این نتایج با

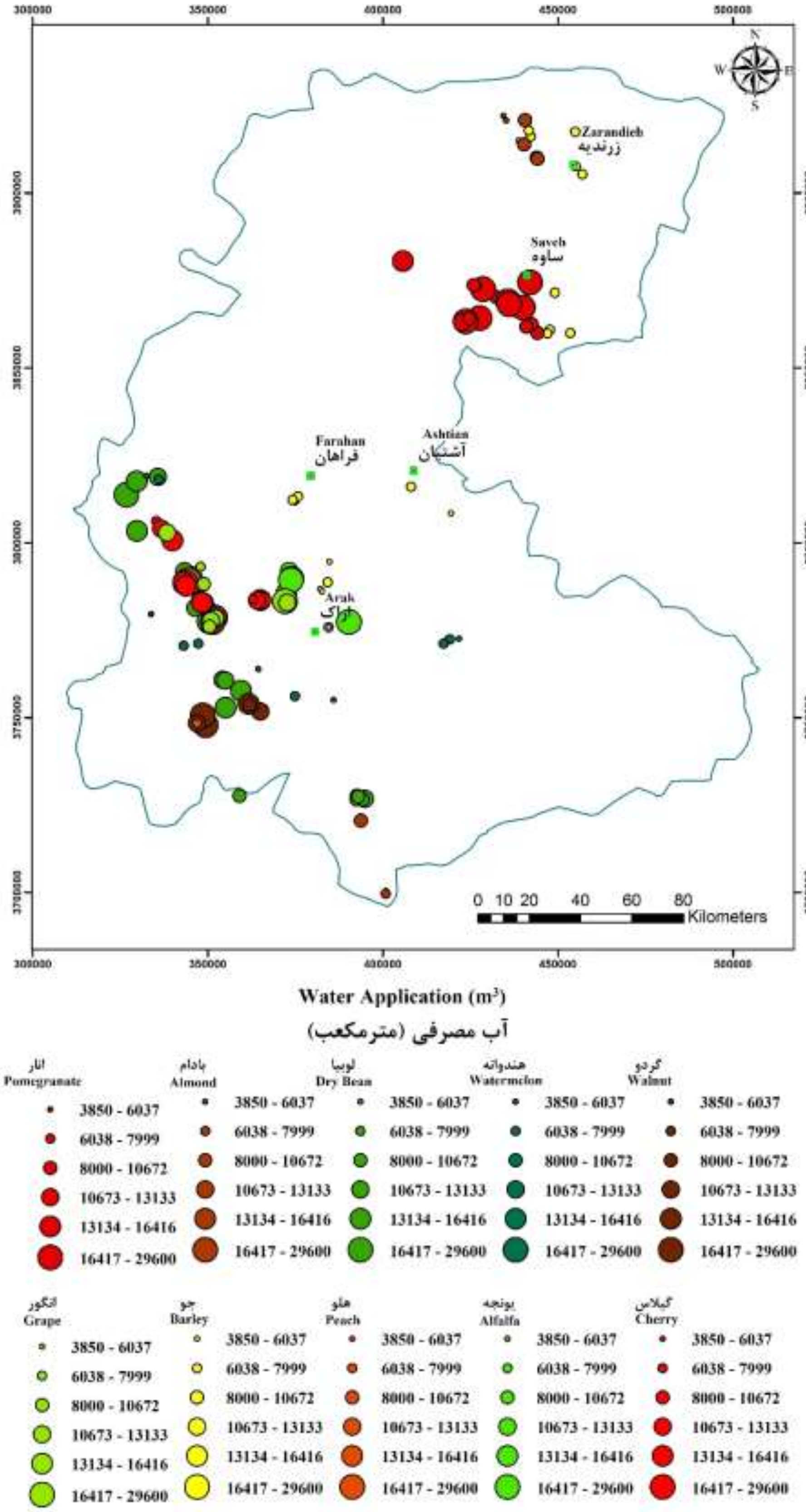
نتایج ارائه شده توسط اکبری (Akbari, 2019)، عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2020)، پرچمی عراقی و همکاران (Parchami-Araghi *et al.*, 2021)، سلامتی و عباسی (Salamati and Abbasi, 2021) و شاهرخنیا و همکاران (Shahrokhnia *et al.*, 2022)، همخوانی دارد.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، میانگین شاخص بهره-وری آب آبیاری و بهره‌وری کل (آب آبیاری و باران مؤثر) در مزارع مورد مطالعه به ترتیب ۱/۷۹ و ۲ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بیشترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری مربوط به هندوانه و کمترین مقدار مربوط به گردو بود. با توجه به بحث آب‌بر بودن محصول هندوانه و ایجاد محدودیت کشت برای این محصول در کشور، بایستی به بحث بهره‌وری آب بالا، ردپای آب پایین و بعضاً بهره‌وری اقتصادی بالای آن نیز برای استفاده بهینه در تجارت آب مجازی توجه شود. با توجه به اینکه برنامه آبیاری زارعین بر اساس نیاز آبی واقعی گیاه و تنش رطوبتی انجام نمی‌شود گیاه در مقاطعی آب بیشتری دریافت و در مقاطعی آب کمتر از حد مورد نیاز دریافت می‌کند و این مسئله باعث کاهش بهره‌وری آب و متغیر بودن آن در سطح منطقه شده است. این نتایج بیانگر قابلیت اجرای کم‌آبیاری در سطح مزارع و باغات استان است، لذا ترویج و آموزش کم‌آبیاری به روش صحیح و کاربردی به کشاورزان، می‌تواند باعث افزایش قابل‌توجه راندمان کاربرد و بهره‌وری آب در تولید محصولات زراعی و باغی گردد.



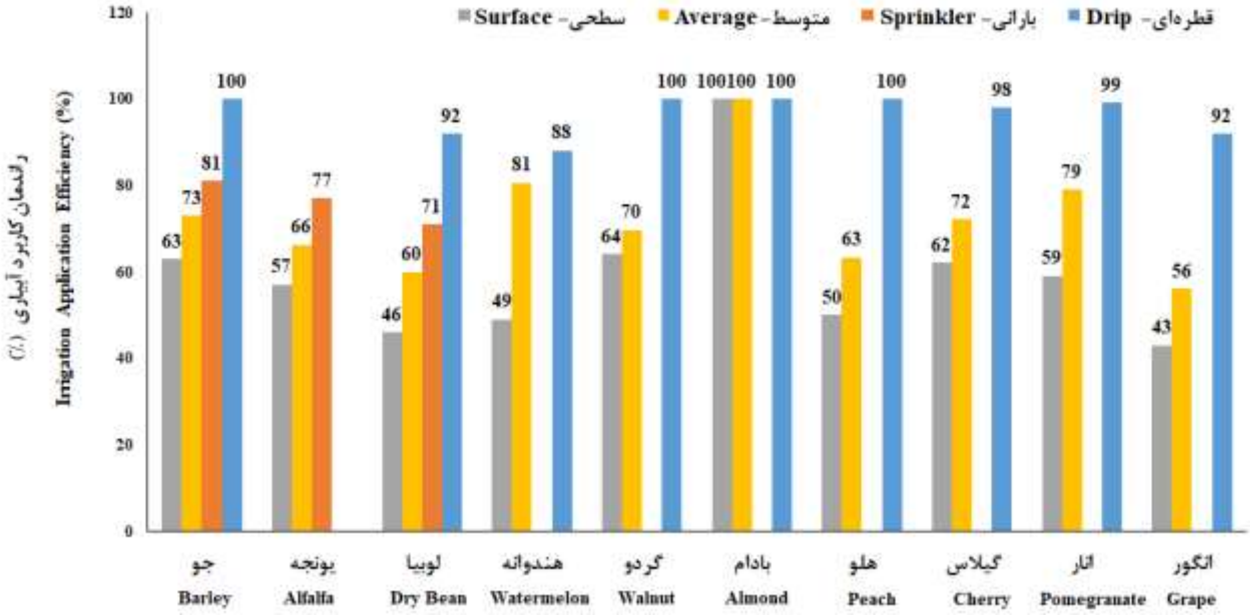
شکل ۲- مقایسه نیاز آبی، عمق خالص و عمق آب آبیاری در مزارع و باغات منتخب

Figure 2- Comparison of water requirement, net depth and depth of irrigation in the selected fields



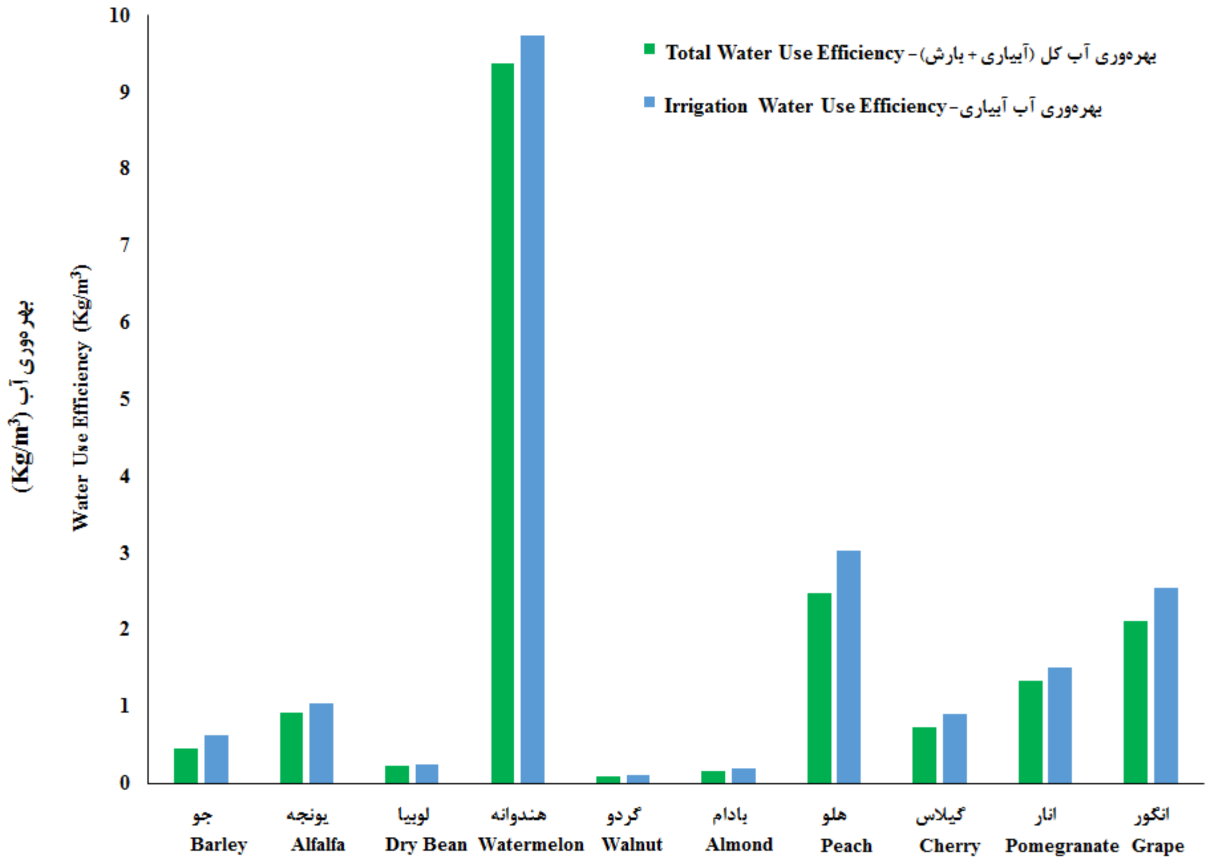
شکل ۳- تغییرات حجم آب آبیاری کاربردی محصولات مختلف در سطح استان

Figure 3- Changes in the volume of applied irrigation water for different crops in the province



شکل ٤- مقایسه شاخص راندمان آبیاری در مزارع و باغات منتخب

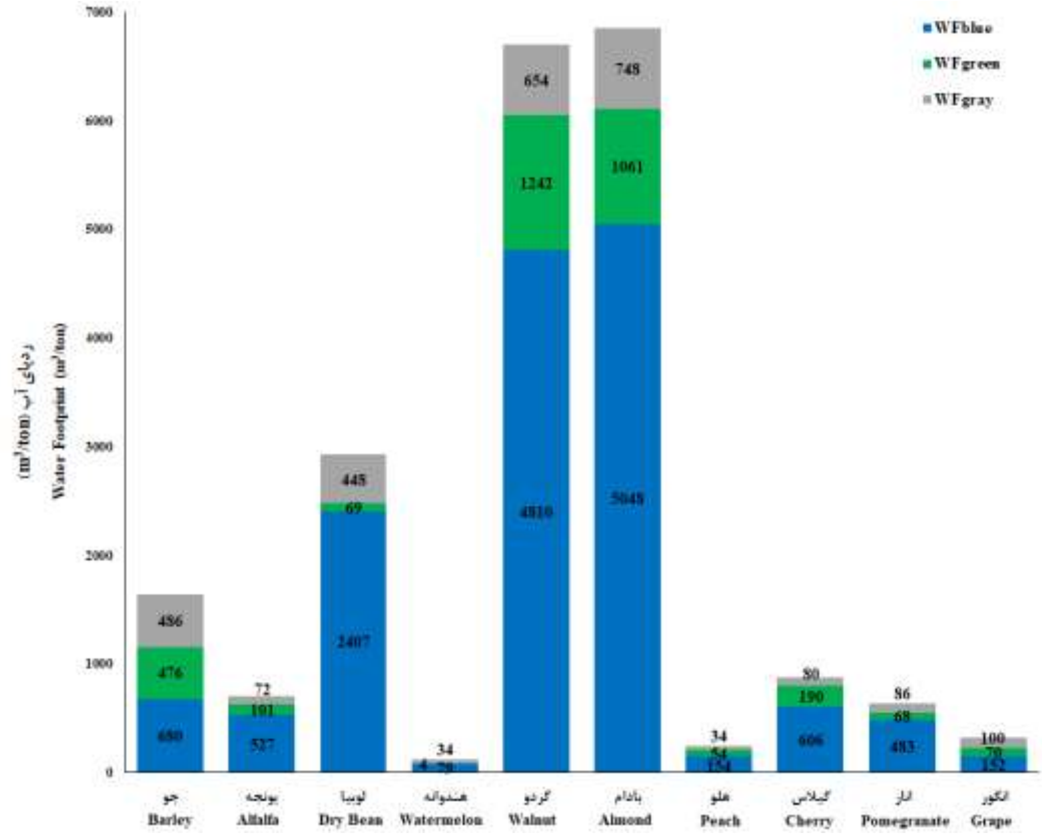
Figure 4- Comparison of irrigation efficiency index in the selected fields



شکل ۵- مقایسه بهره‌وری آب در مزارع و باغات منتخب

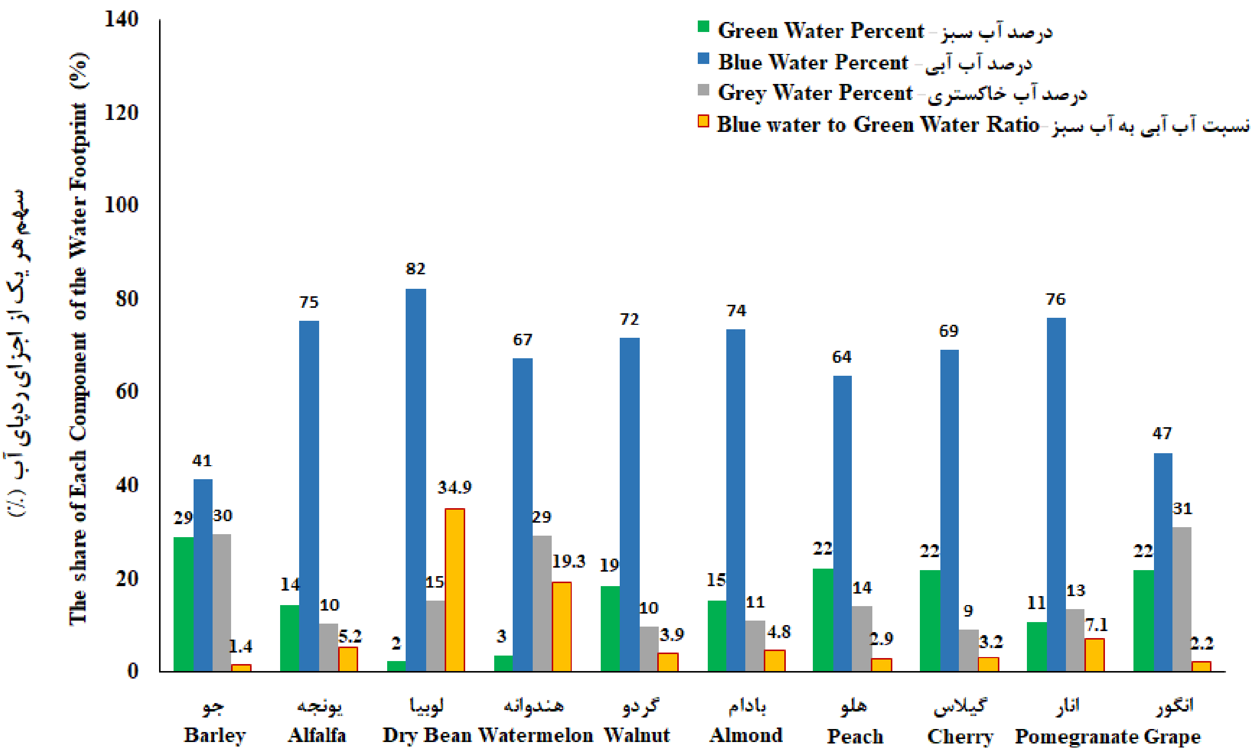
Figure 5- Comparison of water productivity in the selected fields

در شکل ۶ مقایسه ردپای آب سبز، آبی و خاکستری محصولات زراعی و باغی در استان مرکزی ارائه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده میانگین شاخص ردپای آب کل برابر با ۲۱۰۲ مترمکعب بر تن بود. به طور متوسط محصول بادام با ردپای آب ۶۸۵۷ مترمکعب بر تن بالاترین سهم را در اختصاص ردپای آب در محصولات تولیدی استان داشته است. درصورتی که کمترین ردپای آب مربوط به محصول هندوانه با داشتن ردپای آب ۱۱۷ متر مکعب بر تن می‌باشد. بیشترین ردپای آب آبی مربوط به ۳ محصول بادام، گردو و لوبیا می‌باشد که نشان می‌دهد سهم قابل توجهی از منابع آب آبی و سبز برای تولید این محصولات نیاز می‌باشد. در شکل ۷ درصد سهم هریک از اجزای ردپای آب برای محصولات زراعی و باغی مورد ارزیابی نشان داده شده است. بیشترین سهم ردپای آب سبز به میزان ۲۹ درصد برای محصول جو و کمترین سهم ردپای آب سبز به میزان ۳/۵ درصد برای محصول هندوانه می‌باشد. بیشترین سهم ردپای آب آبی به میزان ۸۲/۳ درصد برای محصول لوبیا و کمترین سهم ردپای آب آبی به میزان ۴۱/۴ درصد برای محصول جو می‌باشد. بیشترین سهم ردپای آب خاکستری به میزان ۳۱/۱ درصد برای محصول انگور و کمترین سهم ردپای آب خاکستری به میزان ۹/۱ درصد برای محصول گیلاس می‌باشد. سه محصول لوبیا، هندوانه و انار بیشترین نسبت آب آبی به آب سبز را دارا می‌باشند و این بیانگر این است که نسبت استفاده از آبهای سطحی و زیرزمینی این سه محصول در برابر منابع آب مصرفی ناشی از بارش از سایر محصولات مورد بررسی به مراتب بیشتر می‌باشد. همچنین سه محصول جو، انگور و هلو کمترین نسبت آب آبی به آب سبز را دارا می‌باشند.



شکل ٦- مقایسه ردپای آب سبز ، آبی و خاکستری محصولات زراعی و باغی در استان مرکزی

Figure 6- Comparison of green, blue and gray water footprints of agricultural crops in the Markazi Province



شکل ۷- درصد سهم هر یک از اجزای ردپای آب محصولات زراعی و باغی در استان مرکزی

Figure 7- The percentage share of each component of the water footprint in agricultural and horticultural crops in the Markazi Province

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که حجم آب کاربردی در مزارع و باغات در استان مرکزی متفاوت و بسته به روش آبیاری، تعداد نوبت‌های آبیاری، زمان شروع آبیاری در ابتدای فصل، زمان قطع آبیاری در انتهای فصل، میزان حقابه و منابع آب در دسترس و نحوه مدیریت بهره‌بردار، بین ۵۸۵۹ تا ۱۵۹۱۶ متر مکعب در هکتار متغیر است. به طور میانگین مجموع حجم آب آبیاری و بارش مؤثر در مزارع و باغات تحت آبیاری در استان مرکزی از نیاز آبی واقعی گیاه بیشتر است. به‌طورکلی نتایج نشان داد که مدیریت آبیاری تأثیر زیادی بر مقدار کاربرد آب در استان مرکزی دارد. با توجه به اینکه اکثر مزارع و باغات به‌صورت حقابه‌ای آب دریافت می‌کنند اصولاً به نیاز آبی و حتی بارش مؤثر توجه ویژه‌ای نمی‌شود و میزان دسترسی به آب بیشترین تأثیر را در مصرف آب دارد. لذا گیاه در مقاطعی آب بیشتری دریافت و در مقاطعی آب کمتر از حد مورد نیاز دریافت می‌کند و این باعث کاهش بهره‌وری آب می‌گردد. پیشنهاد می‌شود به‌منظور کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب، تحویل آب به کشاورزان در طول فصل مدیریت شود و حقابه متناسب با نیاز آبی به آن‌ها تحویل داده شود. نتایج نشان داد در بین محصولات مورد بررسی بیشترین سهم ردپای آب آبیاری مربوط به محصول لوبیا و کمترین مقدار مربوط به محصول جو می‌باشد. ردپای آب را می‌توان از طریق افزایش عملکرد محصول، کاهش تبخیر و تعرق غیرمفید، کاهش مصرف کود و سموم شیمیایی، استفاده بهتر از بارش مؤثر و استفاده از ارقام مقاوم با عملکرد بالا، کاهش داد. در مجموع از نتایج ردپای آب بدست آمده می‌توان به منظور بهبود سیاست‌گذاری‌های کلان منابع آب در سطح استان، مطالعات آمایش سرزمین، اصلاح الگوی کشت و سیاست‌گذاری‌های بخش محیط زیست استفاده نمود.

منابع

1. Abbasi, F., Nasseri, A., Goodarzi, M., Karimi, M., Eslami, A., Taheri, M., Uossef Gomrokchi, A., Taifeh Rezaee, H., Khosravi, H., Mousavifazl, S.H., Firouzabadi, A.G., Baghani, J., Abbasi, N., & Akbari, M. (2020). Evaluation of Vineyards applied water and water productivity in Iran. . *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *21*(80), 133-148. (In Persian). https://doi.org/10.22092/idser.2020.351803.1438
2. Abbasi, F., Sohrab, F., & Abbasi, N. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Irrigation and Drainage*

Structures Engineering Research, *17*(67), 113-128. (In Persian). https://doi.org/10.22092/aridse.2017.109617
3. Akbari, M. (2019). Determination of alfalfa applied water in Iran. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute, Final Report of Research Project No. 58905. (In Persian)
4. Aligholinia, T., Rezaie, H., behmanesh, J., & Montaseri, M. (2016). Determination and evaluation of blue and green water footprint of dominant tillage crops in Urmia Lake watershed. *Journal of Water and Soil Conservation*, *23*(3), 337-344. (In Persian). https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3203
5. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration*. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrig. Drain. Paper No. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
6. Anonymous. (1999). Report of the Ministry of Energy to the government delegation. Water sector, water and sewage, electricity, energy and water and electricity subsidies. (In Persian)
7. Ashktorab, N., & Zibaei, M. (2021). Water footprint accounting of the main crops in Fars province. *Agricultural Economics Research*, *13*(1), 207-234. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086407.1400.13.1.10.9
8. Azimi Dezfuli, A.A. (2020). An introduction to agricultural water accounting by estimating crop water consumption. *Journal of Water and Sustainable Development*, *6*(3), 31-40. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i3.84407
9. Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., & Savenije, H.H.G. (2006). Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Science*, *10*, 455-468. www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/455/2006/
10. Goodarzi, M., Abbasi, F., & Hydayatipour, A. (2021). Evaluation of irrigation water management indices in grape production (Case study in Markazi province). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *14*(6), 2003-2012. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.2021.14.6.11.2
11. Hoekstra, A.Y., & Chapagain, A.K. (2008). *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publishing, Oxford, UK, 220p.
12. Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., & Mekonnen, M.M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK, 203p.
13. Karen, F., & Virginie G. (2012). Irrigation water requirement and water withdrawal by country. FAO AQUASTAT Reports.
14. Mohaddanesh, A. (1995). Hydrology of Iran's surface waters, organization for the study and editing of university humanities books. 379 pages. (In Persian)
15. Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R., & Makin, I. (2001). A water-productivity framework for understanding and action, Workshop on Water productivity, Wadduwa, Sri Lanka. November 12 and 13, 2001, pp. 1-18.
16. Naseri, A., Abbasi, F., & Akbari, M. (2017). Estimating Agricultural Water Consumption by Analyzing Water Balance. . *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(68), 17-32. (In Persian) https://doi.org/10.22092/aridse.2017.105338.1057
17. Parchami-Araghi, F., Moayeri, M., & Zeinalzadeh-Tabrizi, H. (2021). Assessment of Rapeseed Water Use and Water Productivity across Moghan Plain, Ardabil Province, Iran. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *15*(5), 1172-1186. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.5.15.3
18. Richards, L.A., (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (No. 60). Soil and Water Conservative Research Branch, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
19. Salamati, N., & Abbasi, F. (2021). Assessment of water productivity of sprinkler and surface irrigation systems in Silage maize fields (case study in Behbahan). *Water and Soil Science*, *31*(4), 99-110. (In Persian). https://doi.org/10.22034/ws.2021.12259
20. Samani, M.V. (2006). Water resources management and sustainable development. Office of Infrastructure Studies of the Islamic Council. Report number 7374, 35 pages. (In Persian)
21. Shahrokhnia, M.A., Abbasi, F., Nasseri, A., Dehghanian, S.E., Eslami, A., Salamati, N., Moghbeli Damaneh, E., Zare Mehrani, E. (2022). Determination of applied water and water productivity of lemon orchards in Iran. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *23*(87), 1-20. (In Persian). https://doi.org/10.22092/idser.2022.358902.1512
22. Shahrokhnia, M.A., Abbasi, F., Nasseri, A., Haghayeghi, A., Goodarzi, M., Farzamnia, M., Parvizi, H., Mousavi Fazl, S.H., & Ghasemi, M.M. (2022). Measuring the volume of irrigation water and water productivity of pomegranate orchards in Iran. *Water Management in Agriculture*, *9*(1), 57-72. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764531.1401.9.1.5.6
23. USDA. (1967). *Irrigation water requirements*. Tech. Release No. 21, United States Dept. of Agr., Soil Manage. 59: 67–75.
24. Yousefi, H., Mohammadi, A., Noorollahi, Y., & Sadatinejad, S.J. (2018). Water footprint evaluation of Tehran's crops and garden crops. *Journal of Water and Soil Conservation*, *24*(6), 67-85. (In Persian). https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.13718.2842